

PROPOSTA TECNICA: ELETTRONICA PER CONTROLLO MOTORI AD ORIENTAMENTO DI CAMPO (FOC)

Rev.	Prepared by		Date	Approved		Date
0.0	RBCS-EDL		09/12/2008			09/12/2008

1 Revision history

[illegible]

2 Summary

1	Revision history	1
2	Summary.....	2
3	Descrizione generale.....	3
4	Dettaglio della proposta	3
4.1	Field Oriented Control.....	3
4.2	SVM	4
5	Architettura proposta	4
6	Vantaggi della proposta	5
7	Riferimenti.....	7

3 Descrizione generale

La proposta tecnica in oggetto prevede lo studio di un'elettronica per il controllo vettoriale ad orientamento di campo (FOC) per motori di tipo Brushless, sincroni a magneti permanenti (PMSM) DC (BLDC) ed AC (BLAC sinusoidali) previsti di sensore/i di posizione sull'asse veloce. La tecnica di controllo prevede in ogni istante la conoscenza (o la stima) della posizione del rotore e misura delle correnti di fase e la tensione di DC-Link. Il pilotaggio del motore viene attuato in tecnica Space Vector PWM, le risultanti tensioni di fase sono di forma sinusoidale.

Il controllo vettoriale può essere esteso per il controllo di diversi tipi di motore, anche asincroni, a riluttanza, motori 'coppia' rotativi e lineari, con riduttori a basso rapporto di riduzione e direct-drive.

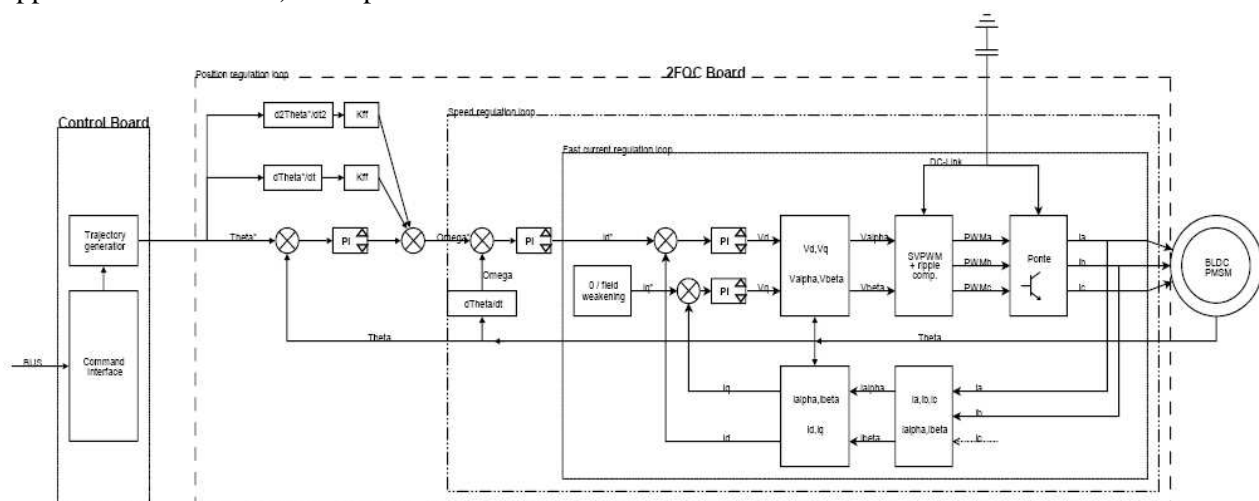
La struttura generale del driver risulta logicamente separata in due blocchi che assolvono alle seguenti funzioni:

- 1) Sezione di potenza, misura correnti di fase, lettura sensori posizione, loop di controllo di corrente (coppia), loop di controllo di velocità, posizione, protezioni ed allarmi.
- 2) Calcolo delle traiettorie, interfacciamento su bus e protocollo.

4 Dettaglio della proposta

4.1 Field Oriented Control

Il controllo FOC prevede una serie di trasformazioni di coordinate che traducono le grandezze di controllo dal sistema trifase presente sullo statore (i_a, i_b, i_c) ad uno spazio rotante solidale con il rotore (i_d, i_q) che trasforma il controllo del motore brushless a qualcosa di simile al controllo di un motore DC: la componente i_d controlla direttamente la coppia mentre la componente i_q controlla il flusso; in motori a magnete permanente il flusso è generato dai MP, in questo caso il controllo della componente i_q rende possibile la tecnica di deflussaggio che permette di raggiungere velocità superiori a quella nominale del motore. La trasformazione di coordinate da riferimento statorico a riferimento rotorico (Park, Clarke) necessita per ogni iterazione la misura (o la stima nel caso di applicazioni sensorless) della posizione del rotore θ .



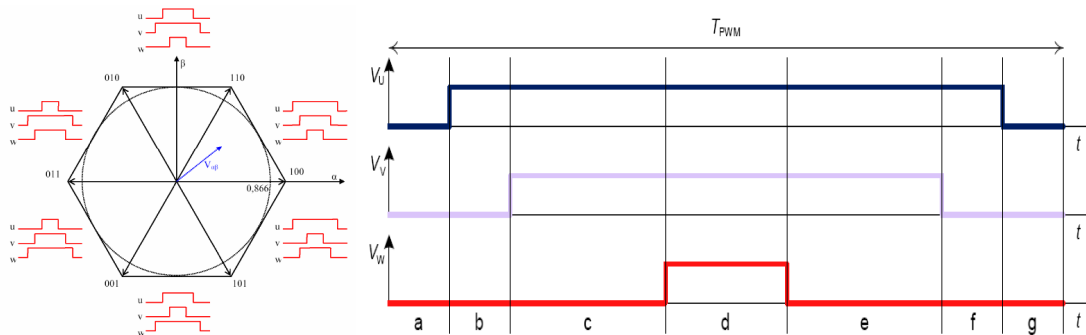
La realizzazione dei loop di controllo (uno più interno per la corrente/coppia, uno per la velocità ed uno per la posizione) permette di ottimizzare i tempi di esecuzione dell'algoritmo di controllo ottenendo ad esempio: controllo di corrente (controllo di coppia) a 5-10KHz, controllo di velocità e posizione a 1KHz.

4.2 SVM

La space vector modulation è una tecnica di modulazione PWM che può essere applicata su ponti trifase come quello usato sulle schede attuali in presenza di un sensore delle correnti di fase.



Mentre nel controllo brushless DC solamente due avvolgimenti sono attivi nel ciclo di PWM nella SVM tutti i rami del ponte si attivano per un certo tempo, questo significa che mentre nel primo caso possono essere applicate solamente le tensioni che stanno sui vertici dell'esagono (tabella di commutazione), nella SVM vengono generati vettori orientati verso qualsiasi angolo rendendo il passaggio tra due posizioni estremamente fluido anche a velocità prossime allo zero.



Inoltre la generazione di una PWM centrata ha l'ulteriore vantaggio di raddoppiare la frequenza di PWM (il vettore $[0,0,0]$ e $[1,1,1]$ impongono entrambe un tensione nulla), riducendo il ripple di corrente (coppia) ottenuto.

5 Architettura proposta

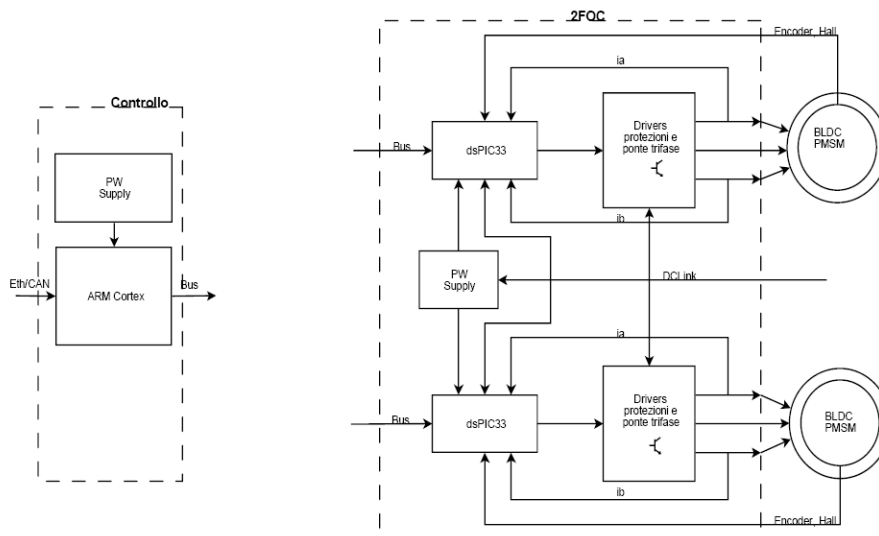
Una possibile strutturazione del progetto può essere schematizzata come segue:

una scheda (2FOC) che comprenda la sezione di driver e potenza, la misura correnti di fase, la lettura sensori posizione, e la lettura della tensione di DC-Link; il FW implementerà i loop di controllo di corrente (coppia), loop di controllo di velocità e posizione, tutte le protezioni su correnti (protezione HW + limitazione corrente), potenza erogata (I^2T) e limiti di velocità (massima velocità, errore inseguimento e fuga); per i task di controllo elencati è sufficiente un processore a 16 bit di buone prestazioni, la nuova famiglia di processori dsPIC33 della Microchip dedicati al controllo motore hanno una serie di caratteristiche che li rendono adattissimi allo scopo: dimensioni ridottissime (6x6mm), alta velocità di esecuzione (fino a 40 MIPS), una serie di periferiche dedicate al controllo motori (PWM dedicata alla SVM, encoder incrementali e ingressi irq per sonde di hall, protezioni HW per sovracorrente ed emergenza esterna, ADC 12bit 500Ksps sincronizzabili, 2SPI, 1 CAN, 2 IIC, DAC, Timers, CapCom, RTC, UART, internal DMA) e la possibilità di rimappare le periferiche presenti su qualsiasi dei pin del chip via FW.

La dimensione del componente permette di realizzare una scheda per il FOC di 2 motori con relativi driver si potenza nelle dimensioni della attuale scheda BLP, utilizzando 1 processore per motore e semplificando quindi il FW di pilotaggio e permettendo le elevate prestazioni presentate in precedenza.

Una scheda che implementa il calcolo delle traiettorie, sincronizzazione degli assi, interfacciamento su bus (CAN/Ethernet) e protocollo. Per questi task è adatto un componente ad alte prestazioni che

permetta di controllare 1 o più schede 2FOC (permettendo in maniera semplice la sincronizzazione di 2 o più assi e riducendo gli ingombri e costi). Per questa scheda potrebbe essere utilizzato un processore di famiglia ARM Cortex a 32 bit della Luminary Micro che integra interfacce Ethernet, 2 CAN ed SPI su single chip. Le dimensioni della scheda di controllo risultano inferiori a quelle della attuale BLL.



Scheda Controllo e 2FOC

La comunicazioni tra le due sezioni avviene attraverso un bus veloce privato (CAN o SPI) che permetta lo scambio dei dati di controllo (θ^*) alla velocità necessaria (1KHz) ed eventualmente l'esposizione delle variabili interne del FOC ($\omega^*, \theta, i_a, i_b, i_c, i_\alpha, i_\beta, i_d, i_q, i_d^*, i_q^*, K_P, K_D, \omega, \dots$) senza influire sui dati di controllo (ad esempio tramite la priorità CAN).

6 Vantaggi della proposta

Rispetto alle schede di controllo oggi utilizzate i vantaggi/ miglioramenti che si possono ottenere con quanto proposto sono così riassunti:

- Misura di corrente di fase e quindi vero controllo di corrente e di coppia attraverso la chiusura diretta del loop di corrente sul sensore di coppia.
- Incremento della velocità e precisione (SVM) dei loop di controllo (fino a 5-10KHz).
- Controllo della posizione su tutto lo spazio angolare e non solo sull'esagono, che si traduce in una minore vibrazione e rumore acustico a basse velocità, anche nel caso di bassi rapporti di riduzione o motori con ridotto numero di coppie polari.
- Separazione dei task di controllo del motore dalle parti di più alto livello (calcolo percorsi, interfacciamento, comunicazione e protocollo). La sezione di controllo motore non necessita di particolare profondità o precisione di calcolo (sufficienti 16 bit e non necessita di fp) e si basa su una tecnica da tempo consolidata (FOC); una volta messa a punto e testata a fondo la sezione di controllo motore rimane invariata al variare delle caratteristiche di più alto livello come ad esempio: tipo di media di comunicazione CAN, Ethernet, fibra, permettendo una transizione morbida verso nuovi media o protocolli di comunicazione senza coinvolgere i task di controllo motore.
- Possibilità di superare la velocità nominale del motore applicando la tecnica di deflussaggio, superiore velocità a regime a parità di tensione di alimentazione (la percentuale di incremento non è quantificabile, dipende dalla 'deflussabilità' del motore utilizzato).
- Sensibile riduzione degli ingombri, in particolare se le prestazioni della scheda di controllo e canale di comunicazione privato risulteranno tali da pilotare più di una scheda 2FOC.

- Possibilità di utilizzare per il controllo diverse tecnologie di sensori di posizione, spi (tipo AS5045), encoder incrementali con tacca di zero, sonde di hall (forse resolver).
- Possibilità di acquisire 2 sensori di posizione per asse in modo da avere in contemporanea la posizione dell'asse lento e veloce.
- Migliore implementazione della protezione I2T in quanto possibile misurare e controllare direttamente le correnti di fase.
- Applicazione di un campo sinusoidale, che dovrebbe fluidificare l'erogazione di potenza anche nel caso non ideale di motori brushless-DC.
- Semplificazione dei task di sincronizzazione dei movimenti assi (camma elettronica) in quanto risidenti su un singolo processore.
- Semplificazione dei cablaggi elettrici e riduzione del numero di connessioni necessari (maggiore affidabilità).
- Maggiore efficienza di funzionamento e possibilità di recupero (trasferimento) energetico dell'energia in frenatura.
- Struttura di controllo allineata a quanto presente sul mercato dei driver di fascia alta ma con dimensioni non comparabili con nessun prodotto esistente.
- Apertura verso l'implementazione di protocolli standard di comunicazione (CANOpen, Ethercat, Powerlink).
- Sensibile riduzione dei costi

7 Studio dimensioni e piazzamento

Nelle figure è visibile un'analisi preliminare delle dimensioni della scheda 2FOC e Controllo ed un loro possibile piazzamento (circa dimensioni reali):

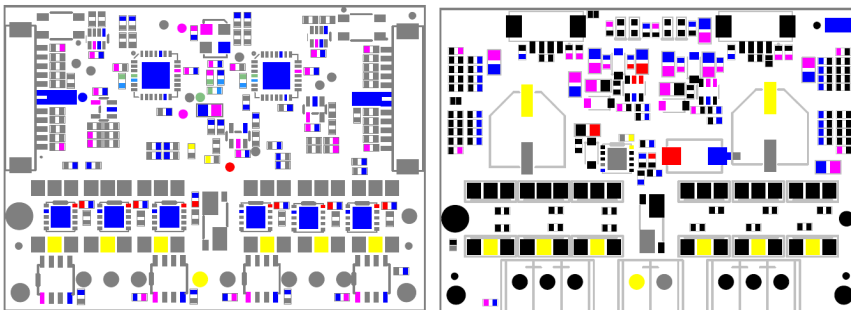


Figure 1: 2FOC bottom

2FOC top

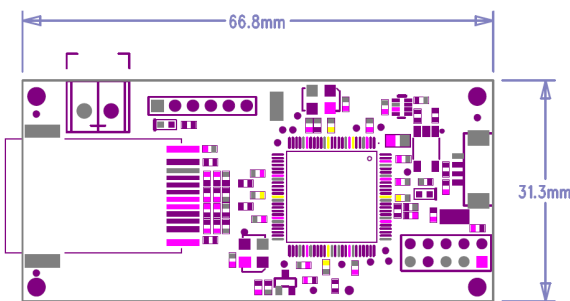


Figure 2: scheda Controllo

8 Riferimenti

La trattazione teorica del FOC per utilizzo di controllo di posizione può essere ad esempio trovare nell'application note AN3301 della Freescale Semiconductor, 'Design of a PMSM Servo System Using the 56F8357 Device'.

Per avere un'idea dell'implementazione del FOC e per una valutazione delle prestazioni ottenibili con il processore dsPIC33 Microchip, può essere vista la seguente Application Note: AN1078A, 'Sensorless Field Oriented Control of PMSM Motors'

Per una trattazione della tecnica di deflussaggio può essere consultata la seguente application note della Texas Instruments: SPRA494, 'Implementation of Vector Control for PMSM Using the TMS320F240 DSP'.